

**Apparat zur Messung der respiratorischen Aufnahme und Abgabe
von Gasen am Menschen nach dem Principe von Regnault.**

Von

F. Hoppe-Seyler.

(Mit zwei Tafeln.)

Im Jahre 1849 erschien in den *Annales de Chimie et de Physique*, Ser. 3, T. 26, eine Abhandlung, betitelt: *Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes* par V. Regnault et J. Reiset, eine Arbeit, in gleicher Weise hervorragend durch vorzügliche neue Methoden für die physiologische Forschung auf diesem wichtigen Gebiete wie durch die werthvollen mittelst derselben gefundenen physiologischen Thatsachen. Bei den sehr zahlreich angestellten Versuchen befindet sich das Versuchsthier in einem allseitig abgeschlossenen Luftraume unter einem gegen die äussere Atmosphäre etwas erhöhten Drucke bei constant erhaltener angemessener Temperatur; die von ihm ausgeschiedene Kohlensäure, auch das mit der Expiration ausgeschiedene Wasser werden fortwährend der Luft der Umgebung des Thieres entzogen, der von ihm aufgenommene Sauerstoff wird entsprechend der Abnahme der Gesammtension der Luft ersetzt durch gemessene Quantitäten reinen Sauerstoffs. Die Analyse einer Luftprobe aus der Umgebung des Thieres entnommen am Ende des Versuchs, zusammen mit der Menge der in der Kalilauge aufgenommenen Kohlensäure und Wasser, sowie des in der Versuchszeit eingeströmten Sauerstoffes ergeben

die Daten, aus welchen der ganze respiratorische Stoffwechsel klar ersichtlich wird.

Das Thier wird durch den Versuch selbst in keiner Weise belästigt, es kann bei angemessener Grösse des allseitig geschlossenen Behälters 24 Stunden und länger in der Untersuchung bleiben, ohne, abgesehen von der Einkerkung, in seinem Wohlbefinden geschädigt zu werden.

Die von Regnault für diese experimentalen Untersuchungen eröffneten Wege der Forschung konnten nicht verfehlen, die Aufmerksamkeit der Physiologen in hohem Grade in Anspruch zu nehmen und zur weiteren Verfolgung derselben anzuregen. Begünstigt durch die schnell vorangehenden Fortschritte der Maschinenteknik, Herstellung vollkommenerer Apparate etc. hat die Anwendung der Regnault'schen Methoden für die Lösung respiratorischer Aufgaben fortdauernd neue wichtige Resultate gefördert. Erhebliche Schwierigkeiten ergaben sich allein bei dem Versuche der Anwendung dieser Methoden zur Untersuchung der gasförmigen Einnahmen und Ausgaben grösserer Thiere. Es haben diese Schwierigkeiten zwar Regnault und Reiset¹⁾ nicht gehindert, in grösseren Apparaten die respiratorischen Einnahmen und Ausgaben von Schafen, Kälbern, Schweinen mit den gleichen Methoden zu untersuchen, aber diese Versuche sind später, soviel mir bekannt, nicht weiter geführt.

Ungefähr gleichzeitig mit dem Erscheinen der Arbeiten von Reiset wurde die Beschreibung eines Respirationsapparates nach ganz anderen Principien von Pettenkofer²⁾ zugleich mit den Resultaten der ersten Versuche mit demselben an grossen Thieren und am Menschen veröffentlicht. Gleichfalls um diese Zeit begannen Untersuchungen nach wieder andern Principien über den respiratorischen Gasaustausch des Menschen von Speck³⁾, die aber erst 1871 veröffentlicht sind.

¹⁾ Reiset, Annales de Chimie et de Physique (Ser. 3), T. 69, 1863.

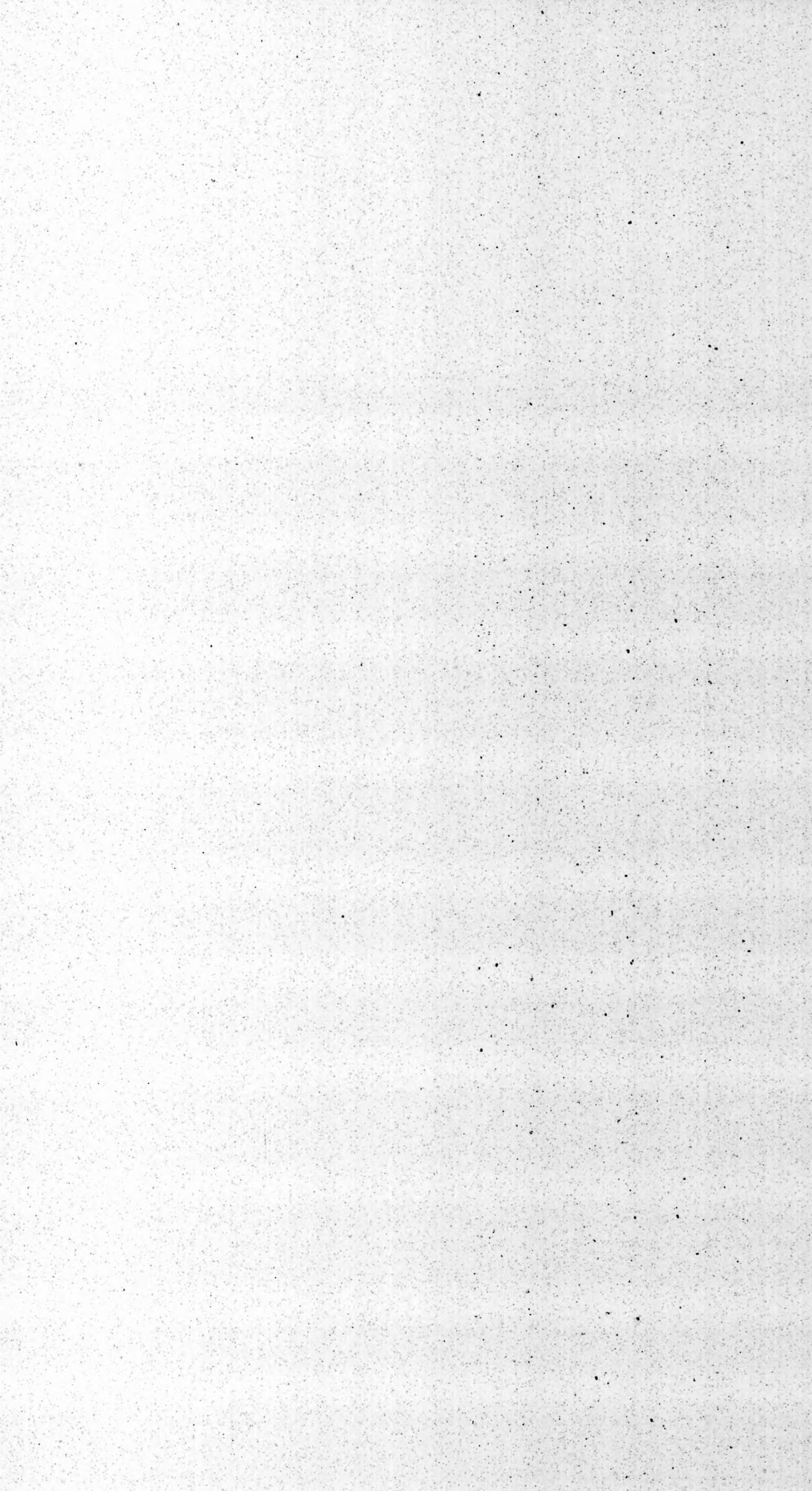
²⁾ Pettenkofer, Ann. d. Chem. u. Pharm., Supplem.-Bd. 2, S. 1, 1862—63.

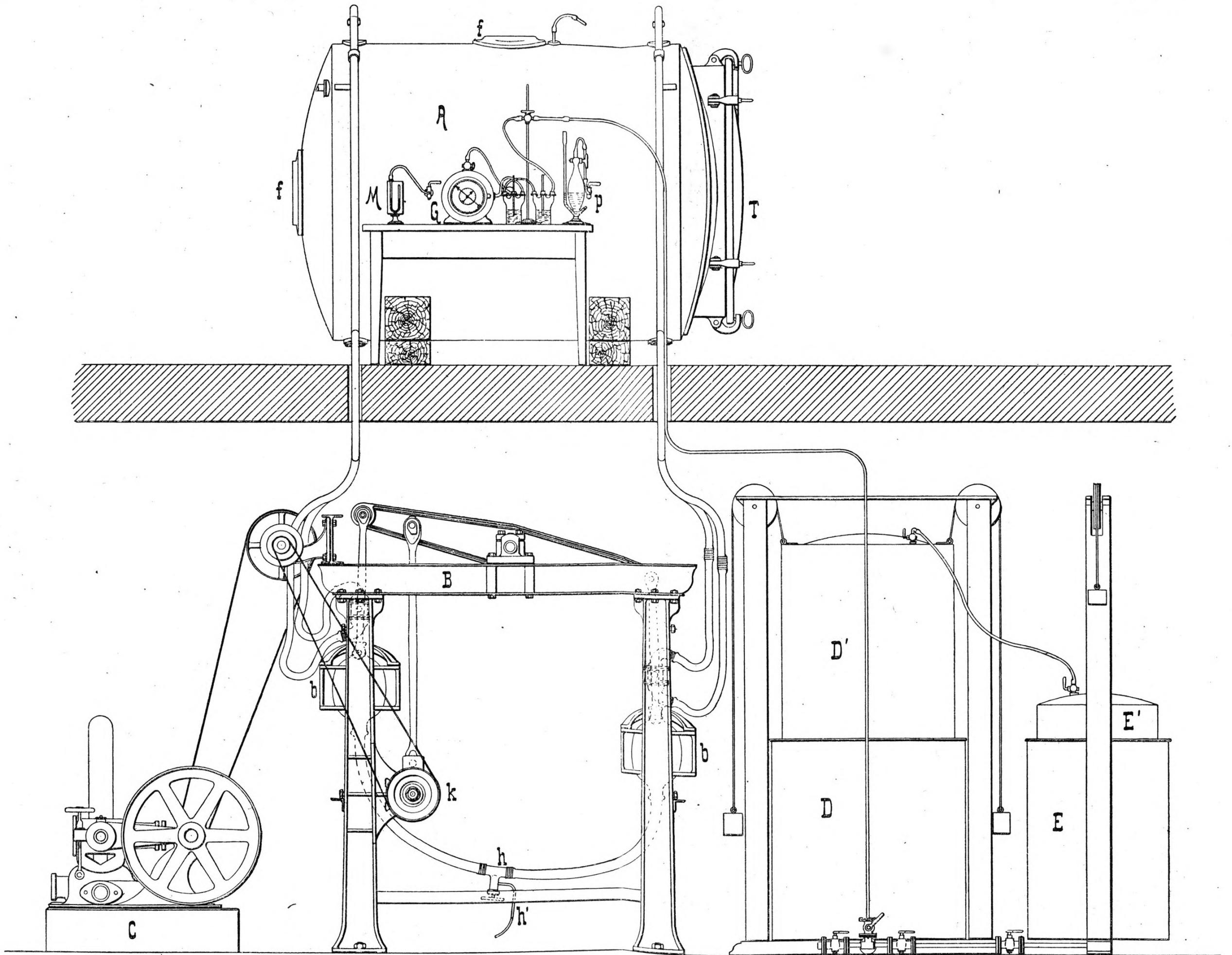
³⁾ C. Speck, Untersuchungen über den Sauerstoffverbrauch und CO₂-Ausathmung des Menschen. Schriften zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg, Bd. 10, 1871.

Der Apparat von Pettenkofer und die Ergebnisse der mit demselben sogleich unternommenen Versuche am Menschen erweckten grosse Hoffnungen. Sehr befriedigt durch die vortreffliche Ventilation in diesem Apparate, welche der Versuchsperson stets reichlich frische Luft zuführte, übersah man die sehr bedeutenden Mängel dieses Verfahrens und erkannte nicht sogleich, dass mit der Grösse des Luftwechsels die Ungenauigkeit der Resultate der Kohlensäurebestimmungen in mindestens gleichem Grade wachsen musste, die Sauerstoffaufnahme aber überhaupt nicht bestimmt werden konnte.

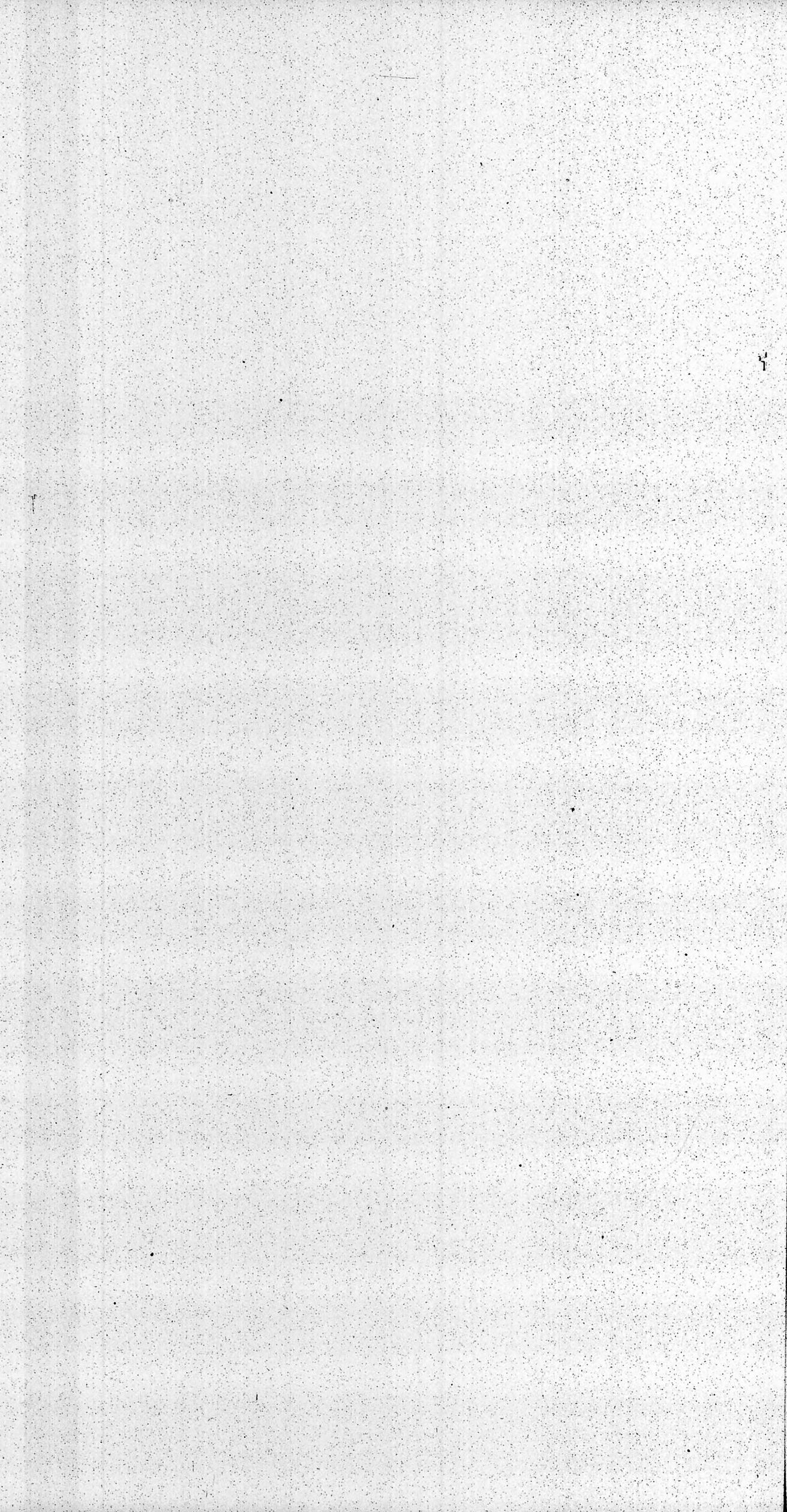
Dem Regnault'schen Verfahren wurde vorgeworfen, dass die Thiere in ihren Behältern während der Versuche eine ganz unreine Luft athmeten, die sie krank mache, ferner, dass solche complicirte Apparate gar nicht luftdicht hergestellt werden könnten, dass endlich die in den einzelnen Versuchen meist gefundene Ausscheidung von etwas gasförmigem Stickstoff durch Undichtheiten des Apparates u. dergl. bewirkt werde; Stoffwechselfersuche hätten die Gleichheit der Stickstoffmenge in der vom Thiere aufgenommenen Nahrung mit der Quantität des Stickstoffs in den Ausscheidungen sicher ergeben. In dieser letzten Hinsicht waren die damals aufgeführten Stickstoffbestimmungen in Nahrung und Ausscheidung nicht so genau, als sie geschildert wurden, aber die Behauptung, dass eine Bildung freien Stickstoffs beim Stoffwechsel der Thiere nicht statt habe, ist insoweit richtig, dass bei möglichst genauer Beachtung aller Fehlerquellen auch bei Versuchen mit dem Regnault'schen Apparate irgend wesentliche Mengen von gasförmigem Stickstoff vom Thier weder ausgeschieden noch aufgenommen werden, wie dies später von Leo und Pflüger¹⁾ erkannt ist. Ein Grund, an der vollkommenen Dichtheit der Apparate von Regnault zu zweifeln, liegt durchaus nicht vor. Der Luftdruck im Innern des Apparates war stets höher als der äussere Barometerstand, ein Eindringen von Stickstoff von aussen durch Undichtheiten war sonach unmöglich. Die wahrscheinliche Ursache der gefundenen Zunahme des Stickstoffvolumen im Athemraume des

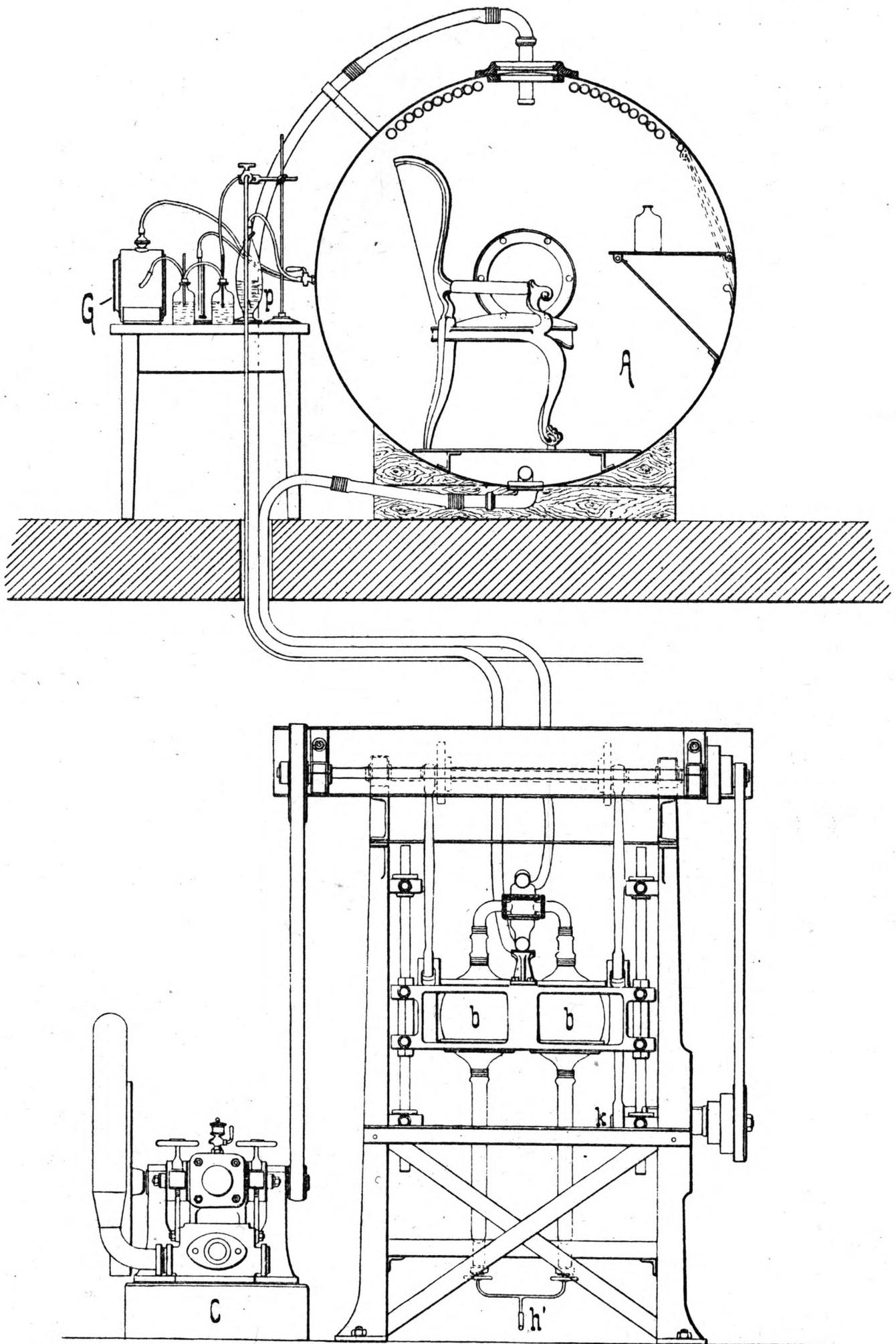
¹⁾ H. Leo, Pflüger's Arch., Bd. 26, S. 218, 1881.

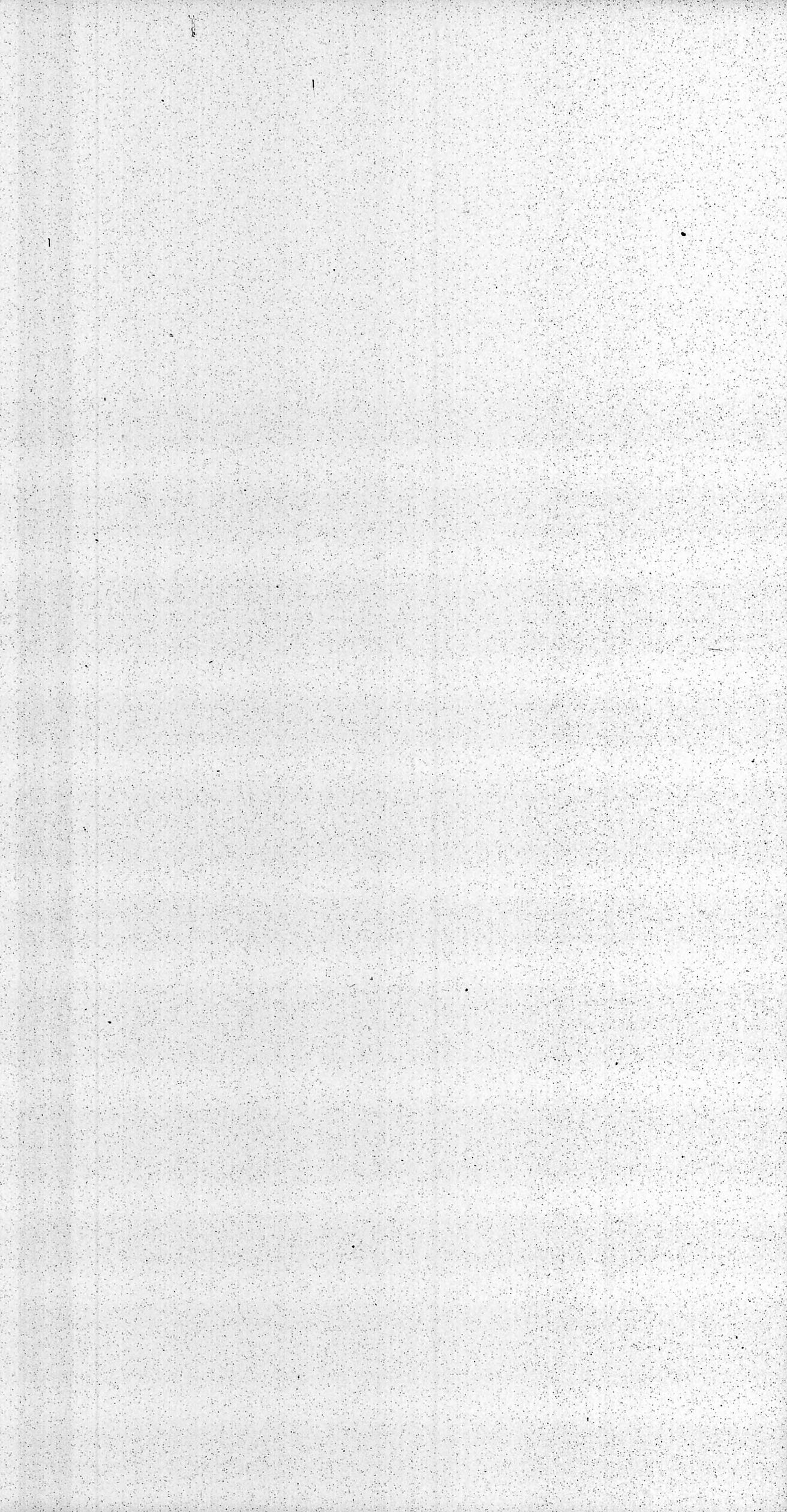




«Hoppe-Seyler. Apparat zur Messung der respiratorischen Aufnahme und Abgabe von Gasen am Menschen nach dem Principe von Regnault».







Thieres ist in der Absorption von Stickstoff aus der Atmosphäre in die Sperrflüssigkeit und Uebertragung eines Theils davon an den abgesperrten Sauerstoff zu suchen. Im Uebrigen ist leicht ersichtlich, dass zahlreiche Fehlerquellen die Bestimmung des Stickstoffvolumen schädigen können. Die von Regnault gefundenen Aenderungen des Stickstoffvolumen betragen meist 1—2 Vol.-Procent des vom Thier verbrauchten resp. in den Apparat eingeströmten Sauerstoffs.

Die Ansichten über die Giftigkeit der Luft in Räumen, in welchen Menschen oder Thiere längere Zeit geathmet haben, sind bis zur Jetztzeit manchem Wechsel unterworfen gewesen, auch jetzt noch nicht zu einer definitiven Klärung gelangt. Sehr gründlich und klar ist dieser Gegenstand behandelt in der Gratulationsschrift von Wolffhügel betitelt: «Zur Lehre vom Luftwechsel», Pettenkofer zum Doctorjubiläum gewidmet 1893, Seite 29—44. Hier ist auch die wichtige Literatur über die in Betracht kommenden Punkte eingehend aufgeführt. Schon vor längerer Zeit habe ich in Folge einer bestimmten Aufforderung hierzu mich experimental mit dieser Frage beschäftigt und bei meinen Bestimmungen Resultate erhalten, welche mit den von Hermans und J. Forster¹⁾ erhaltenen vollkommen übereinstimmen. Abgesehen von Versuchen mit Permanganat habe ich beim langsamen Durchleiten der verunreinigten Luft (20—50 Liter) durch Chlorcalciumrohr und Kalilauge mit etwas festem Kali im besonderen Röhren wie bei der Elementaranalyse dieselben Werthe für den Kohlensäuregehalt gefunden, mochte die Luft durch ein Stück Verbrennungsrohr mit Asbest gefüllt und zum schwachen Glühen erhitzt gegangen sein oder nicht, wenigstens lagen die Differenzen innerhalb der Fehlergrenzen. Ich halte es trotz der übereinstimmenden Versuchsergebnisse für wichtig genug, derartige Vergleiche noch möglichst genau und in zahlreichen Versuchen auszuführen.

Die von Pettenkofer bezeichneten Mängel des Apparates von Regnault sind thatsächlich zum Theil gar nicht

¹⁾ Hermans und Forster, Arch. f. Hygiene, Bd. 1, S. 1, 1883.

vorhanden, zum andern Theil, wie unten noch näher besprochen werden soll, recht wohl zu beseitigen.

Seit 1885 sind nun von Geppert und Zuntz und mehreren ihrer Schüler, in letzter Zeit besonders von Magnus-Levy¹⁾, sehr zahlreiche und vielseitige Untersuchungsreihen über den respiratorischen Gasaustausch ausgeführt nach einer gut ausgedachten und sorgfältig durchgeführten Methode, welche sich am Nächsten an das Verfahren von Speck anschliesst, auch das vortreffliche Speck'sche Doppelventil zur Scheidung der Expirationsluft von der Inspirationsluft verwendet. Die Nase der Versuchsperson ist durch Klemme geschlossen, an den Mund fügt sich luftdicht ein Mundstück, durch welches geathmet wird. Die Expirationsluft strömt durch eine Gasuhr, welche durch diese Luft gedreht wird und dieselbe misst; ein genau regulirter und bekannter kleiner Theil des Stromes der Expirationsluft wird zu Gasröhren geführt, welche senkrecht im Wasserbade stehen. Das Luftvolumen wird in diesen Röhren gemessen, dann nach Hempel's Methoden ihr Gehalt an Kohlensäure und an Sauerstoff schnell bestimmt.

Mag auch die Anfügung des Mundstückes am Munde völlig luftdicht, der Druck, unter welchem die Ventile sich öffnen und schliessen und der Druck, welcher zur Drehung der Gasuhr und der Transmission, die ihr angefügt ist (zur Regulirung des für die Analyse bestimmten Antheils vom Expirationsluftstroms), erfordert wird, noch so klein sein, das Athmen mit solchem complicirten Apparate ist kein freies Athmen; alle hier und da unvermeidlich eintretenden Aenderungen im Respirationstypus, wie Räuspern u. drgl., müssen fühlbare Widerstände überwinden, das Athmen durch Mundstück ermüdet an sich schon bald die Versuchsperson, und es wird wohl von keiner Seite bestritten werden, dass das Athmen durch diesen Apparat nur auf kurze Zeit ohne starke Ermüdung ertragen werden kann. Lediglich ganz zuverlässige und geübte Versuchspersonen können überhaupt für diese

¹⁾ Ad. Magnus Levy. Pflüger's Arch., Bd. 55, S. 1, 1893.

Untersuchungen verwendet werden. Längere Zeit fortgesetzte Versuche sind damit nicht ausführbar. Die Zweckmässigkeit dieses Apparates zur experimentalen Entscheidung mancher Fragen, welche die Expirationsluft betreffen, soll durchaus nicht bestritten werden, aber zur Untersuchung der Hauptfragen im Betreff der respiratorischen gasförmigen Aufnahmen und Ausscheidungen in grösseren Zeiträumen kann dies Verfahren mit dem Regnault'schen Apparate nicht concurriren, denn in dem letzteren ist die Versuchsperson nur eingeschlossen, im Uebrigen aber in allen ihren Thätigkeiten vom Apparate unabhängig, mag sie wachen oder schlafen, ruhig sitzen oder liegen, mechanische oder andere Arbeiten verrichten.

Einrichtungen des Respirationsapparates für Versuche an Menschen.

Der im Strassburger physiologisch-chemischen Institute aufgestellte Respirationsapparat, zu Versuchen am gesunden oder kranken Menschen bestimmt, ist zusammengesetzt aus einem passendgeformten, nach aussen allseitig luftdicht abschliessbaren Raum A (siehe die Abbildungen Taf. I u. II), in welchem die Versuchsperson verweilt. Durch 6—7 cm. weite Röhrenleitung jederseits oben am vordern und hintern Ende wird Luft abwechselnd aus dem Raume abgesogen in 4 grosse theils mit starker Aetzkalilauge gefüllte Flaschen, welche in einem Bewegungs- resp. Schaukelapparate B fest eingelegt, durch einen Wassermotor C in der Weise bewegt werden, dass die Kalilauge beim Aufsteigen der Flaschen der einen Seite durch die verbindenden Kautschukschläuche in die beiden Flaschen der andern Seite abfliesst und an ihrer Stelle Luft aus A ansaugt, während auf der andern Seite ein ebenso grosses Luftvolumen durch gleichweite Röhrenleitung nach A zurückgepresst wird und nahe am Boden in A wieder einströmt. Aus dem Gasometer D', welcher Sauerstoff enthält, geht durch enges Kupferrohr Sauerstoff durch eine mit Aetzkalilauge gefüllte Waschflasche, dann eine mit Wasser gefüllte Flasche zur Gasuhr und tritt dann in den Raum A ein. Der ganze nach aussen abgeschlossene

zusammenhängende Luftraum in A und B beträgt 4943 Liter, die Röhren und Kalifflaschen nehmen hiervon 108,5 Liter ein.

Der Aufenthaltsraum A für die Versuchsperson hat die Gestalt eines liegenden Cylinders mit nach aussen convex gewölbten Endflächen. Die Wandung besteht aus Dampfkesselblech und der ganze Behälter ist einem Dampfkessel ähnlich. Diese Form ist gewählt wegen ihrer Stabilität bei Druckänderung, der leichtern Herstellung und damit zugleich geringeren Kosten. Die Länge des Cylinders beträgt 2 m., der Durchmesser 1,66 m. In der Mitte der oberen Wölbung ist ein kreisrundes (20 cm. im Durchmesser) Fenster *f* von 1 cm. starken Spiegelglas angebracht, durch welches bei Nacht die darüber befindliche Gaslampe mit Milchglasschirm das Innere des Apparates gut erhellt, so dass man im Lehnstuhl sitzend ohne Anstrengung lesen kann. Ein zweites kreisrundes Fenster *f* (29,5 cm. im Durchmesser) befindet sich an der convexen Basis des Cylinders nach dem Fenster des Zimmers hin, sodass bei Tageslicht das Innere gut beleuchtet ist. Ein drittes kreisrundes Fenster (21 cm. Durchmesser) ist in der an der gegenüberliegenden Basis des Cylinders oben an der Thür *T* angebracht. Der Fussboden wird von gitterförmig durchbrochenen eisernen Platten gebildet, unter denen an beiden Enden die Röhren münden, durch welche die von den Kalifflaschen kommende, von CO_2 befreite Luft zurückkehrt. Auf diesen Bodenplatten steht der in verschiedener Stellung des Fussbrettes und der Rücklehne von der Versuchsperson verstellbare Lehnstuhl, oder an Stelle des Sessels nach Belieben ein Bett. An der einen Seite kann eine auf 2 Consoleträgern (Eisenstäben) gestützte eiserne Tischplatte in Charnieren an der Wand herabgelassen werden. An der gegenüberliegenden Wandung befinden sich 3 Oeffnungen von engen Röhren, durch deren erste die Communication mit dem Manometer *M* aussen auf dem Tische neben dem Cylinder hergestellt ist. Durch die mittlere Oeffnung tritt der Sauerstoff von der Gasuhr *G* ein und durch die dritte können in das mit Quecksilber gefüllte Gasometer *p* Luftproben von der Luft im Cylinder abgenommen werden. Ein kleines Röhrchen

ist oben in der Wölbung neben dem Fenster angebracht, um die Leitungen aufzunehmen für Telephon oder eine Edison-Glühlampe zur inneren Beleuchtung.

Die Versuchsperson betritt durch die 1,30 m. hohe und 0,5 m. breite Thüröffnung vor Beginn des Versuchs das Innere des Cylinders, nachdem 2 leere Flaschen von circa 6 Liter Inhalt nebst Stopfen und ein Blasebalg auf den Tisch im Innern gelegt sind. Die Thür wird sogleich geschlossen, indem ihr mit einem rings an derselben herumlaufendes, in Falz fest eingelegtes starkes Kautschukband fest gegen den abgerundeten Rand des Thürrahmens gepresst wird. Die Abbildung lässt deutlich die Form der in Charnieren beweglichen übergreifenden hakenförmig gekrümmten Klammern erkennen, an deren Ende starke Schrauben sich befinden, durch deren starkes gleichförmiges Anziehen mittelst der Hand an den ringförmigen Griffen ein festes Anpressen der Thür gegen den Rand des Thürrahmens erreicht wird. Die ganze Basis des Cylinders mit Thürrahmen, so wie die in lockeren Charnieren daran angesetzte Thür sind aus starkem Gusseisen angefertigt. Sechs Klammern mit Schrauben, je eine oben und unten und 2 auf jeder Seite, werden übergeklappt und schnell angezogen, es ist dies das Werk weniger Sekunden, und die Thür ist völlig luftdicht geschlossen. Oben an der innern Seite der Wölbung des Cylinders läuft ein Wasserleitungsrohr in 10facher Hin- und Herbiegung zu beiden Seiten des oberen Fensters an der ganzen Länge des Cylinders hin (im Ganzen 40 m. Rohrlänge bei 30 mm. Durchmesser der Röhren). Durch schwächeren oder stärkeren Wasserstrom kann der durch die Versuchsperson erwärmte Innenraum auf passender Temperatur erhalten werden. Die Temperatur wird controlirt nach dem Stande zweier Thermometer, deren Skala am Fenster, der Thür und dem Fenster der gegenüberliegenden Basis des Cylinders von aussen gut beobachtet werden kann.

Am Ende des Versuchs hat die Versuchsperson die beiden leeren Glasflaschen mittelst des Blasebalges zu ventiliren, so dass ihr Luftinhalt mit der Luft im übrigen Raume des

Cylinders gleiche Zusammensetzung hat, dann die Flaschen fest zuzustopfen, damit sie nach dem Versuche zur Pettenkofer'schen Bestimmung des CO_2 -Gehaltes der Luft am Ende des Versuchs verwendet werden können.

Der Bewegungsapparat B, welcher im Keller unter dem Raume, in dem der cylinderische Apparat A zum Aufenthalt der Versuchsperson sich befindet, aufgestellt ist, wird in Bewegung erhalten durch den Wassermotor C (von Schmid in Zürich) mittelst der in der Abbildung gut erkennbaren Transmissionen, Kurbelstange und Balancier. Jederseits befinden sich in demselben 2 in einem eisernen Gestell b mit Kautschukausfütterung eingefügte Flaschen, jede von circa 15 Liter Inhalt. Jede Flasche der einen Seite ist mit einer der andern Seite durch 6—7 cm. weiten in der Wandung starken Kautschukschlauch verbunden, an dessen Mitte ein kupferner Hahn h zum Einfüllen und Ablassen der Kalilauge angebracht ist. Die oberen Oeffnungen dieser Flaschen sind luftdicht angefügt an gebogenen kupfernen Röhren, welche zu einem cylinderischen Mittelstück (in Tafel II in dicken Linien gezeichnet) der Rohrleitung führen, in dem sich auf Messingkreuz aufliegende, nach oben schlagende Ventile von Kautschukplatten befinden, von denen das eine oberhalb, das andere unterhalb der seitlichen Eintrittsöffnungen der Rohrleitung zu den Flaschen liegt. Die von den Röhren an der obern Wölbung im Raume des Cylinders A, in welchem sich die Versuchsperson befindet, eingesaugte Luft wird durch das untere Ventil den Kaliflaschen einer Seite zugeführt, in welchen die Kalilauge abwärts zur andern Seite fliesst, während auf der andern Seite des Bewegungsapparates die von der zuströmenden Kalilauge ausgetriebene Luft durch das obere Ventil und die angefügte Röhrenleitung unter den durchbrochenen Platten des Fussbodens in den Raum der Versuchsperson A zurückfliesst. Diese Ventile functioniren tadellos und zeigen besonders an der Bewegung der Kalilauge in den Flaschen beim Auf- und Abgehn derselben, dass sie schwächster Luftpression folgend sich erheben und deshalb die Auf- und Abbewegung der Kalilauge nicht verändern.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Bewegungsapparat die Kaliflaschen abwechselnd der einen und der andern Seite hebt und senkt, wird regulirt durch den Wasserleitungshahn, durch dessen geringere oder weitere Oeffnung der Wassermotor zu geringerer oder grösserer Zahl der Umdrehungen seiner Kurbel in der Zeiteinheit gebracht wird. Hinter der Riemenscheibe K (Tafel II) am Bewegungsapparat B befindet sich an derselben Axe die Kurbel, an der die Triebstange angefügt ist, welche die Verbindung mit dem Balancier vermittelt. Diese Anfügung ist in einem Schlitten des Kurbelarmes stellbar befestigt, so dass der Radius des Kreises, welchen die Anfügungsstelle bei der Umdrehung der Kurbel beschreibt und damit die Hubhöhe, um welche dabei die Kaliflaschen gehoben und gesenkt werden, in mässigen Grenzen vermindert und gesteigert werden kann. Die Hubhöhe für die Flaschen war gewöhnlich zu 27 cm. bemessen und 4 bis 12 Kurbelumdrehungen in der Minute, je nach der grösseren oder geringeren Füllung der Kaliflaschen mit Lauge eingestellt. Die bei dem Hinabgehen der Flaschen in sie einströmende Kalilauge bewegt sich in Wellen und Wirbeln, welche sehr günstig für die Absorption der Kohlensäure insofern wirken, als an die Berührungsfläche der Flüssigkeit immer neue Flüssigkeitstheilchen gelangen, in gleicher Weise stets neue Lufttheile in Berührung mit der Flüssigkeit treten und die Berührungsfläche selbst bedeutend vergrössert wird. Bei zu starker Anfüllung der Flaschen und zu schnellem Gang könnte sich Spritzen der Kalilauge einstellen; es würde dies insofern Gefahr bringen, als Lauge an die Kautschukplatten der Ventile spritzen und deren Function stören könnte. Bei nicht zu schnellem Gange können 26 Liter Kalilauge eingefüllt sein; eine Füllung mit 20 Liter hat sich als die zweckmässigste erwiesen. Bei dieser Füllung und 4maliger Umdrehung der Kurbel in der Minute beträgt die Ventilation in der Stunde 4,8 cbm., indem 10 Liter der Lauge in den verbindenden Kautschukschläuchen nur hin und her fliessen und bei der Ventilation unbetheiligt bleiben. Es kann jedoch die Ventilation noch wesentlich höher gesteigert werden. Auch die Anbringung noch eines dritten

und vielleicht auch vierten Kaliflaschenpaares nebst unten verbindenden weiten Schläuchen würde nur eine wenig kostspielige Aenderung erfordern und bei der Steigerung der Leistungsfähigkeit auf das $1\frac{1}{2}$ —2fache eine sehr wesentlich grössere Leistung des Motors nicht erheischen. Die Bewegung des Motors C, der Bewegungsmaschine B und der Kalilauge in den Flaschen ist so vollkommen geräuschlos, dass man nur leises Rauschen des vom Motor in die Abzugsröhre fliessenden Wassers vernimmt, wenn man in der Nähe der Maschinen steht. Die Stille ist bei den Versuchen eine so allgemeine, dass die Versuchspersonen leicht einschlafen und wenn nicht öfter ermuntert, lange Zeit fest schlafen können. Die Strömung des Wassers aus der Röhrenleitung im Cylinder in das Abflussrohr bringt etwas Geräusch hervor, das aber ziemlich gleichmässig und nicht störend ist.

Da der Bedarf an Sauerstoff in Versuchen an Menschen ein recht bedeutender sein kann, ist dem Respirationsapparat ein kupfernes Gasometer angefügt von circa $\frac{1}{2}$ cbm. Gasraum in der Glocke. Um den Uebertritt von Stickstoff aus der äusseren Luft durch das Sperrwasser in das Sauerstoffgas in der Gasometerglocke möglichst zu beschränken, sind sowohl die Gasometerglocke als auch der Behälter des Sperrwassers, in welches die Glocke eintaucht, mit einem concentrischen Cylindermantel umgeben, welcher einen Raum einschliesst, der luftdicht vom inneren Raum geschieden ist. Wenn die innere Gasometerglocke mit ihrer das Gas einschliessenden Wandung in das Sperrwasser des innern Sperrwasserbehälters hinabgelassen wird, soll die concentrische äussere Wandung des äussern circulären Raumes in der Glocke zwischen der inneren und äusseren Wandung des circulären Sperrwasserbehälters hinabsinken. Dieses Hinabsinken wird nur möglich, wenn das im circulären äusseren Raume enthaltene Gas entweichen kann. Um dies zu ermöglichen ist ein zweites kleineres Gasometer neben das beschriebene grosse gestellt und oben durch einen Hahn und Kautschukschlauch mit einem Hahn oben an den circulären Raum am grossen Gasometer D' in Verbindung gesetzt.

Die Gaszu- und Abflussröhren laufen horizontal am Boden hin und steigen durch den Boden der Sperrwasserbehälter D und E im Centrum desselben senkrecht bis über die Oberfläche des Wassers empor. Die Gasometerglocken sind äquilibrirt durch Gewichte, welche an den Seiten der Wölbung der Gasometer mittelst zweier Seile befestigt sind, die über Rollen an Gestellen gehen und aussen die angehängten Gewichte tragen. Sind nun die Gasometer beide ganz im Sperrwasser hinabgelassen, so wird in das kleinere Gasometer E' (bei geschlossenem Hahn oben an der Wölbung der Glocke) durch die Röhrenleitung am Boden Sauerstoff zunächst allein eingeleitet, während die Röhrenleitung nach D' noch durch Hahn abgeschlossen ist. Nachdem E' mit Sauerstoff gefüllt ist, wird durch Schliessung des Zuleitungshahns in der untern Röhrenleitung nach E' und Oeffnung des Hahns nach D' der Sauerstoffstrom in die innere Glocke von D' eingeleitet, während die Hähne an der oberen Wölbung beider Gasometer, welche mit Kautschukschlauch verbunden sind, geöffnet werden. Wird dann das grosse Gasometer allmählig durch das eingeleitete Sauerstoffgas zum Steigen gebracht, so strömt Sauerstoffgas aus E' in den äusseren circulären Raum der Gasometerglocke D' so lange bis schliesslich der innere Raum von D' genügend gefüllt und der Hahn am Zuleitungsrohr unten geschlossen ist. Wird dann in den Versuchen aus dem inneren Raum der Gasometerglocke D' Sauerstoff verbraucht, indem derselbe durch das enge Kupferrohr zu den Waschflaschen und der Gasuhr G geleitet wird, so strömt entsprechend der Senkung der Gasometerglocke D' durch die oberen Hähne an D' und E' und den verbindenden Kautschukschlauch aus dem circulären Raum von D' das Sauerstoffgas wieder nach E' zurück. Ist nun die Gasometerglocke im inneren und im circulären Raume mit Sauerstoff gefüllt, so kann Stickstoff aus der atm. Luft durch Diffusion im Sperrwasser zunächst nur zu dem Sauerstoff im circulären Raum gelangen, von da durch das innere Sperrwasser erst zum Sauerstoff im inneren Raume von D'. Die Stickstofftension im circulären Raume von D' wird auf lange Zeit eine

sehr geringe bleiben, und da man sich die Geschwindigkeit der Diffusion des Stickstoffs durch Wasser (die in allen Fällen eine langsame ist) doch als abhängig von der Tension des Gases vorstellen muss, wird entsprechend diesem geringen Druck das Ueberströmen aus dem circulären Raume durch das innere Sperrwasser in den inneren Raum ausserordentlich langsam vor sich gehen.

Da jetzt aus der Fabrik von Elkan in Berlin bei 100 Atm. comprimirtes, ziemlich reines Sauerstoffgas in Bomben bezogen und vorrätbig erhalten werden kann, so wird man es wohl vortheilhafter finden, ein kleines einfaches Kupfergasometer zu benutzen, dessen Füllung aus der Bombe während eines längeren Zeit fortgesetzten Versuches mehrmals geschehen kann. Die directe Anfügung der Bombe an das Sauerstoffzuleitungsrohr zur Gasuhr mit regulirendem Ventil von grosser Empfindlichkeit (und für mässigen Ueberdruck des Sauerstoffs über den Barometerstand eingestellt) wird sich gleichfalls einrichten lassen, aber freilich nicht leicht mit der Empfindlichkeit einer 80 cm. im Durchmesser haltenden Gasometerglocke bei bestimmter Belastung.

Die Ausführung eines Versuchs mit dem geschilderten Apparate gestaltet sich nun in ungefähr folgender Weise.

Zunächst sind einige Vorarbeiten nöthig:

1. Der Apparat A ist gut zu ventiliren;
2. der CO_2 -Gehalt der bereit gehaltenen Kalilauge von 1,27 spec. Gewicht ist durch 2 Analysen zu bestimmen, ebenso
3. der CO_2 -Gehalt der Luft im offenen Raume A nach Pettenkofer's Titrirungsmethode;
4. es werden 20 Liter der Kalilauge in die Flaschen des Bewegungsapparates B eingefüllt;
5. die 2 Flaschen, jede ungefähr zu 6 Liter Inhaltsraum, die Stopfen dazu und Blasebalg werden auf den Tisch in A gestellt;

6. Barometerstand und Stand der Thermometer an den Fenstern werden notirt;
7. das mit Quecksilber gefüllte kleine Gasometer p, von ungefähr 500 cbcm. Inhaltsraum wird an das Röhrrhen mit Hahn am Apparat A angefügt;
8. die kurz vorher gewogene Versuchsperson betritt den Raum A und sogleich wird die Thür luftdicht geschlossen.

Mit Beginn des Versuchs:

Die Zeit des Beginns des Versuches wird notirt, ebenso der Stand der Zeiger der Gasuhr.

Der Bewegungsapparat wird durch vorsichtige Oeffnung des Zuströmungshahns der Wasserleitung zum Wassermotor C in Bewegung gesetzt und die Bewegung langsam zur passenden Geschwindigkeit gesteigert. Der Hahn zwischen Sauerstoffgasometer D' und engem Kupferrohr wird geöffnet ebenso oben vorsichtig der Hahn, durch welchen das Sauerstoffgas aus diesem Kupferrohr zur Kaliflasche, Wasserwaschflasche und Gasuhr gelangt. Hierzu wird ein passender Theil der Gegengewichte an der Gasometerglocke D' abgenommen, so dass das Sauerstoffgas unter etwas gesteigerten Druck gelangt.

Während der ganzen Dauer des Versuchs hat der Experimentator, welcher den Versuch leitet, oder sein zeitweiser Stellvertreter den Stand des Wassermanometers, den Gang der Gasuhr und den Stand der Thermometer an den Fenstern des Raumes A zu beobachten und von Zeit zu Zeit zu notiren, bei Steigerung der Temperatur in A und des Manometerniveau im äusseren Schenkel durch vorsichtigen Gebrauch der Kühlung mittelst der Wasserleitung die Temperatur und hiermit den inneren Ueberdruck zu ermässigen, um die Sauerstoffzufuhr zu steigern.

Ein Assistent hat während der Versuchsdauer im Keller den Gang des Motors und des Bewegungsapparates zu beaufsichtigen, beim Sinken der Sauerstoffgasometerglocke weiterhin die Gegengewichte zu verringern. Der Gang dieser Apparate B, C, D' und E' geht zwar nach einmal hergestellter Regulirung so regelmässig von Statten, dass eigentlich diese

Beaufsichtigung unnöthig erscheinen kann. Sie ist eigentlich nur deshalb erforderlich, weil, wenn Störungen eintreten sollten und das Abbrechen des Versuchs erforderlich sein würde, zum schnellen Abschluss und zur Ausführung der jetzt nöthigen Arbeiten die Hülfe eines Assistenten sehr nöthig ist.

Soll der Versuch abgebrochen werden, so hat die Versuchsperson die 2 Flaschen zur CO_2 -Bestimmung der Innenluft mit dem Blasebalg zu ventiliren und dann mit Stopfen fest zu schliessen. Das Quecksilbergasometer p ist mit Luft aus dem Inneren von A zu füllen. Der Bewegungsapparat wird durch Schliessen des Hahns der Wasserleitung sofort zum Stillstand gebracht. Der Hahn der Sauerstoffzuleitung vor der Kaliwaschflasche wird abgeschlossen, der Stand der Gasuhr, der Stand des Manometer, ebenso der Thermometer und das Barometer notirt, ebenso die Tageszeit. Die Thür von A wird geöffnet und die Versuchsperson wird gewogen.

Eine Reihe weiterer Arbeiten folgt, durch welche 1. das Volumen der abgelassenen Kalilauge aus den Flaschen des Bewegungsapparates und ihr CO_2 -Gehalt bestimmt wird, 2. durch Pettenkofer'sche Titrirung der CO_2 -Gehalt in den zwei 6-Literproben der Innenluft am Ende des Versuchs ermittelt und endlich durch Gasanalyse nach Bunsen's Methoden der Sauerstoffgehalt der Innenluft (Proben aus dem Quecksilbergasometer) bestimmt wird.

In den sich hier anschliessenden Untersuchungen von Herrn Dr. Laves und Herrn Dr. Weintraud sind die ersten vollständigen Versuche über die Respiration des Menschen mit diesem Apparate geschildert. Sie liefern den Beweis, dass der respiratorische Stoffwechsel des Menschen mit diesem Apparate recht wohl untersucht werden kann, indem die Versuchspersonen nicht allein einige Stunden, sondern selbst 24 Stunden ohne Unterbrechung im Apparate zubringen und dann denselben gesund und ohne irgend welche Beschwerde gefühlt zu haben verlassen. Sie würden sich zur Wiederholung wohl nicht freiwillig entschlossen haben, wenn irgend welche erhebliche Uebelstände von ihnen empfunden worden wären.

Wie oben bereits gesagt ist, würde es sich recht wohl ausführen lassen, die etwaigen organischen in der Innenluft des Apparates sich ansammelnden Stoffe zu entfernen und zwar am Einfachsten durch Einschalten von genügend weiten Glasrohrstücken von ungefähr 25 cm. Länge und 7 cm. Durchmesser in die Röhrenstränge, durch welche die Luft oben vom Apparat A abgesaugt und zu den Kaliflaschen geleitet wird, indem in diesen Glasrohrstücken Spiralen von Platindraht zeitweilig im mässigen Glühen erhalten und hierdurch die organischen Stoffe in der Luft verbrannt werden. Es würden bei diesem Verfahren auch Wasserstoff und Methan verbrannt und das Methan erschiene als Kohlensäure in den Resultaten. Es stand uns eine Dynamomaschine nicht zur Verfügung, aber es schien auch wichtig, dass zunächst die völlige Unschädlichkeit der Versuche ohne diese Verbrennung constatirt würde.

Die Procent-Gehalte an Sauerstoff sind so hoch am Ende der Versuche geblieben, dass in dieser Hinsicht keine Einwendung möglich ist; die Procent-Gehalte an CO_2 sind allerdings ziemlich angestiegen, können aber einen den Stoffwechsel qualitativ oder quantitativ schädigenden Einfluss nicht geübt haben.